



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA  
MINI HIDRO DI BENDUNGAN GONDANG  
KARANGANYAR JAWA TENGAH**

SUTAN FAHREZA AKBAR  
NRP : 03111440000079

Dosen Pembimbing :  
Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember



FINAL PROJECT – RC14-1501

**DESIGN OF MINIHYDRO POWER PLANT  
IN GONDANG DAM KARANGANYAR  
CENTRAL JAVA**

SUTAN FAHREZA AKBAR  
NRP : 03111440000079

Supervisor :  
Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc.

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Civil, Environmental, and Geo Engineering  
Sepuluh Nopember Institute of Technology

**PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA  
MINI HIDRO DI BENDUNGAN GONDANG  
KARANGANYAR JAWA TENGAH**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**SUTAN FAHREZA AKBAR**

NRP. 03111440000079

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

1. Dr. Ir. Wasis Wardoyo, MSc

(Pembimbing I)



**SURABAYA  
MEI, 2018**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

# **PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MINI HIDRO DI BENDUNGAN GONDANG KARANGANYAR JAWA TENGAH**

**Nama Mahasiswa** : Sutan Fahreza Akbar  
**NRP** : 03111440000079  
**Jurusan** : Teknik Sipil FTSLK-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc.

## **Abstrak**

*Kabupaten Karanganyar mempunyai potensi ketersediaan air yang cukup melimpah baik sebagai mata air, air sungai, maupun air tanah, Potensi tersebut dimanfaatkan dengan dibangunnya Bendungan Gondang di Desa Gempolan Kecamatan Kerjo Kabupaten Karanganyar. Bendungan Gondang yang mempunyai tinggi bendung 71 meter dan mempunyai debit outflow maksimum untuk irigasi dan air baku adalah 2,348 m<sup>3</sup>/detik.*

*Wilayah kabupaten Karanganyar merupakan daerah yang terdiri dari daerah pegunungan dan daerah perkotaan. Seluruh desa sudah terfasilitasi listrik, tetapi ada beberapa jalan pedesaan yang belum terfasilitasi listrik. Berdasarkan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah Kabupaten Karanganyar juga disebutkan bahwa arah pembangunan daerah ditekankan di kegiatan industri dan pariwisata. Pembangunan ini akan membutuhkan tambahan kebutuhan listrik sebagai prasarananya.*

*Bendungan Gondang yang mempunyai debit outflow maksimum untuk irigasi dan air baku adalah 2,348 m<sup>3</sup>/detik berpotensi menghasilkan listrik yang cukup untuk memenuhi kebutuhan listrik yang ada. Jika Pembangkit Listrik Mini Hidro dibangun di bendungan Gondang, biaya tagihan listrik berkurang karena listrik yang dihasilkan bisa menambah suplai listrik bagi*

*PLN. Hasil dari analisa yang dilakukan, didapat debit andalan yaitu  $1,09 \text{ m}^3/\text{detik}$  sebesar 80%. Dengan beda tinggi sebesar 46,5 meter, akan digunakan turbin Francis dengan spesifikasi debit  $1,09 \text{ m}^3/\text{detik}$ . Dari hasil perhitungan didapatkan daya yang dapat dihasilkan selama satu tahun sebesar 2.821.229 kWh.*

***Kata kunci: Perencanaan, Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro, Bendungan, Energi Listrik***

## **DESIGN OF MINIHYDRO POWER PLANT IN GONDANG DAM KARANGANYAR CENTRAL JAVA**

**Name** : Sutan Fahreza Akbar  
**NRP** : 03111440000079  
**Department** : Civil Engineering FTSLK-ITS  
**Advisor** : Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc.

### **Abstract**

*Karanganyar Regency has the potential of abundant water supply either as springs, river water, and ground water. The potential is utilized by the construction of Gondang Dam in Gempolan Village, Kerjo Sub-district, Karanganyar Regency. Gondang dam which has a high weir of 71 meters and has a maximum outflow discharge for irrigation and water needs is 2.348 m<sup>3</sup>/sec.*

*Karanganyar district area is an area consisting of mountainous areas and urban areas. All villages have been facilitated by electricity, but there are some rural roads that have not been facilitated by electricity. Based on Karanganyar District Medium Term Development Plan also mentioned that the direction of regional development is emphasized in industrial and tourism. This development will require additional electricity needs as an infrastructure*

*Gondang dam that has a maximum outflow discharge for irrigation and water needs is 2.348 m<sup>3</sup>/sec has the potential to generate enough electricity to meet the existing electricity needs. If the Mini Hydro Power Plant is built in the Gondang dam, the cost of electricity bills is reduced because the electricity generated could increase the electricity supply for PLN. The results of the analysis performed, obtained the mainstay discharge of 1.09 m<sup>3</sup>/sec by 80%. With a height difference of 46.5 meters, will be used*

*turbine Francis with discharge specification  $1.09 \text{ m}^3/\text{sec}$ . From the calculation results obtained power that can be produced during one year of 2,821,229 kWh.*

***Keywords: Planning, Mini Hydro Power Plant, Dams, Electrical Energy***



## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan berkat dan rahmatNya sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Tugas Akhir dengan judul **“PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MINI HIDRO DI BENDUNGAN GONDANG KARANGANYAR JAWA TENGAH”** ini disusun guna melengkapi dan memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa laporan ini tidak akan selesai tanpa bantuan dan dorongan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Keluarga yaitu ibu saya, Rina Erwiniyati dan ayah saya, Budi Susilo serta adik saya, Krisna Arya Kusuma yang selalu mendukung dan mendoakan kelancaran perkuliahan di ITS.
2. Bapak Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, ilmu dan membantu menyusun laporan tugas akhir ini.
3. Teman-teman angkatan 2014 Teknik Sipil ITS khususnya Warkop57 yang telah memberikan keceriaan, dukungan, motivasi dan semangat selama penyusunan tugas akhir ini.
4. Ardelia Arlimasita (0311144000098) yang telah memberikan semangat, motivasi dan bantuan penyelesaian berkas sidang sehingga saya bisa maju sidang tugas akhir lebih awal.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, Penulis memohon maaf atas segala kekurangan tersebut. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca.

Surabaya, Mei 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiii
BAB 1 .....	1
1.1    Latar Belakang.....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	2
1.3    Batasan Masalah.....	2
1.4    Tujuan.....	3
1.5    Manfaat.....	3
1.6    Lokasi Studi.....	4
BAB 2 .....	7
2.1    Definisi PLTMH.....	7
2.2    Analisa Debit .....	8
2.3    Analisa Hidrolika.....	9
2.3.1    Penentuan Tinggi Jatuh .....	9
2.3.2    Perencanaan Pintu Intake.....	10
2.3.3    Perencanaan Penstock.....	10
2.3.4    Perencanaan Surge tank.....	11
2.3.5    Perhitungan Kehilangan Energi.....	13
2.3.6    Penentuan Jenis Turbin.....	15

2.3.7	Perencanaan Pondasi Rumah Pembangkit.....	16
2.4	Perhitungan Energi Listrik .....	18
BAB 3	.....	19
3.1	Tahap Persiapan.....	19
3.2	Tahap Analisa .....	19
3.2.1.	Analisa Debit .....	19
3.2.2.	Penentuan Tinggi Bruto yang tersedia.....	19
3.2.3.	Analisa dan Perencanaan Hidrolika.....	20
3.2.4.	Menentukan Beda Tinggi Energi Efektif.....	20
3.2.5.	Penentuan Jenis Turbin.....	20
3.2.6.	Analisa Daya yang Dihasilkan .....	20
3.3	Kesimpulan.....	20
BAB 4	.....	23
4.1	Analisa Debit Andalan .....	23
4.2.	Ploting Awal Perencanaan Komponen PLTMH.....	25
4.3.	Penentuan Tinggi Jatuh Bruto .....	27
4.4.	Analisa Hidrolika.....	27
4.4.1	Perencanaan Pintu Intake.....	27
4.4.2	Perencanaan Penstock.....	28
4.4.3	Keperluan Surge Tank .....	32
4.4.4	Penentuan Jenis Turbin.....	35
4.4.5	Perencanaan Pondasi Rumah Pembangkit.....	36
4.5.	Perhitungan Kehilangan Energi.....	37
4.6.	Analisa Daya Listrik.....	40
5.1	Kesimpulan.....	43
DAFTAR PUSTAKA	.....	44

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Lokasi Bendungan Gondang.....	4
Gambar 1.2 Peta Topografi .....	5
Gambar 1.3 Layout Bendungan Gondang .....	5
Gambar 2.1 Bagian bagian sebuah PLTMH.....	8
Gambar 2.2 Grafik Data Debit Kebutuhan Irigasi dan Air Baku Bendungan Gondang .....	9
Gambar 2.3 Diagram Moody.....	13
Gambar 2.4 Grafik Penentu Jenis Turbin .....	15
Gambar 2.5 Pondasi Rumah Pembangkit untuk Turbin Impulse (turbin Crossflow) .....	17
Gambar 2.6 Pondasi Rumah Pembangkit untuk Turbin Reaction (turbin Francis) .....	17
Gambar 2.7 Diagram efisiensi turbin .....	18
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> pengerjaan tugas akhir .....	22
Gambar 4.1 Duration Curve Debit Kebutuhan Irigasi Bendungan Gondang .....	24
Gambar 4.2 Ploting Denah Perencanaan Komponen PLTMH....	25
Gambar 4.3 Ploting Tampak Samping Komponen PLTMH .....	26
Gambar 4.4 Data Elevasi Muka Air Waduk Sepanjang Tahun ...	27
Gambar 4.5 Bahan pipa penstock untuk pembangkit listrik tenaga air skala kecil .....	29
Gambar 4.6 Simple Surge Tank .....	32
Gambar 4.7 Grafik Penentu Jenis Turbin .....	35
Gambar 4.8 Pondasi Rumah Pembangkit untuk Turbin Reaction (turbin Francis) .....	36
Gambar 4.9 Diagram Moody .....	37
Gambar 4.10 Diagram efisiensi turbin .....	40

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jangkauan besar daya listrik berdasar jenis Hydropower .....	8
Tabel 2.2 Koefisien Sudut Belokan Pipa.....	15

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Kabupaten Karanganyar mempunyai potensi ketersediaan air yang cukup melimpah baik sebagai mata air, air sungai, maupun air tanah, Potensi tersebut dimanfaatkan dengan dibangunnya Bendungan Gondang di Desa Gempolan Kecamatan Kerjo Kabupaten Karanganyar. Bendungan Gondang yang mempunyai tinggi bendung 71 meter dan mempunyai debit outflow maksimum untuk irigasi sebesar 2,348 m<sup>3</sup>/detik.

Wilayah kabupaten Karanganyar merupakan daerah yang terdiri dari daerah pegunungan dan daerah perkotaan. Seluruh desa sudah terfasilitasi listrik, tetapi ada beberapa jalan pedesaan yang belum terfasilitasi listrik. Berdasarkan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah Kabupaten Karanganyar juga disebutkan bahwa arah pembangunan daerah ditekankan di kegiatan industri dan pariwisata. Pembangunan ini akan membutuhkan tambahan kebutuhan listrik sebagai prasarannya.

Bendungan Gondang yang mempunyai debit irigasi maksimum 2,348 m<sup>3</sup>/detik berpotensi menghasilkan listrik yang cukup untuk memenuhi kebutuhan listrik yang ada. Jika Pembangkit Listrik Mini Hidro dibangun di bendungan Gondang, kebutuhan tambahan listrik sebagai prasarana pembangunan dapat terpenuhi. Karena itu pemanfaatan sumber daya air di bendungan Gondang sebagai tenaga PLTMH dapat digunakan untuk memaksimalkan pemanfaatan air yang ada.

### 1.2 **Rumusan Masalah**

Permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini ialah sebagai berikut:

1. Berapa debit yang digunakan untuk perencanaan PLTMH?
2. Berapa diameter dan tebal pipa untuk desain penstock?
3. Berapa tinggi dan lebar bukaan untuk desain pintu tower intake?
4. Apakah perlu surge tank? Jika perlu, berapa tinggi, panjang dan lebarnya?
5. Berapa tinggi pondasi rumah pembangkit?
6. Berapa besar kehilangan energi yang terjadi?
7. Jenis turbin apa yang dipilih?
8. Berapa besar energi listrik dalam kurun waktu satu tahun yang dapat dihasilkan oleh PLTMH tersebut?
9. Bagaimana gambar perencanaan PLTMH tersebut?

### 1.3 **Batasan Masalah**

Pembahasan pada tugas akhir ini dibatasi oleh aspek-aspek berikut:

1. Data yang digunakan berdasarkan data perencanaan bendungan Gondang yang sudah ada.
2. Tidak melakukan analisa kestabilan pada perencanaan bangunan sipil.
3. Tidak melakukan perhitungan analisa kekuatan struktur dari bangunan sipil.
4. Dalam pembahasan tugas akhir ini tidak dilakukan analisa ekonomi.



#### 1.4 **Tujuan**

Penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk:

1. Menentukan besar debit yang digunakan untuk perencanaan PLTMH,
2. Menentukan diameter dan tebal pipa untuk desain penstock,
3. Menentukan tinggi dan lebar bukaan untuk desain pintu tower intake,
4. Mengetahui keperluan surge tank dalam perencanaan serta ukuran tinggi, lebar, dan panjang untuk desain surge tank,
5. Menentukan tinggi pondasi rumah pembangkit,
6. Menentukan besar kehilangan energi yang terjadi dari desain bangunan sipil untuk PLTMH,
7. Menentukan jenis turbin yang akan digunakan perencanaan PLTMH,
8. Menghitung besar energi listrik yang dapat dihasilkan oleh PLTMH yang direncanakan,
9. Membuat gambar perencanaan PLTMH.

#### 1.5 **Manfaat**

Penulisan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui besar energi listrik yang dapat dihasilkan PLTMH di bendungan Gondang Karanganyar.
2. Perencanaan PLTMH ini dapat menambah suplai listrik akibat kekurangan listrik yang terjadi di Karanganyar dengan memanfaatkan potensi yang tersedia.

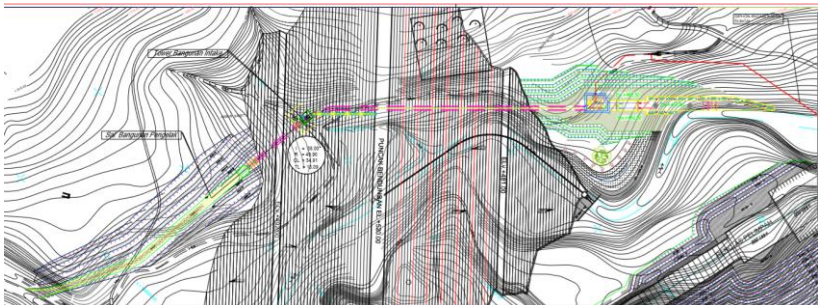
### 1.6 Lokasi Studi

Lokasi studi perencanaan pembangkit listrik tenaga mini hidro ini terletak di Desa Gempolan, Kecamatan Kerjo Kabupaten Karanganyar tepatnya pada Bendungan Gondang. Lokasi berjarak sekitar 24,9 km dari pusat kota Karanganyar dan berada di daerah gunung Lawu bagian barat. Lebih jelasnya letak dan lokasi studi dapat dilihat pada gambar.



**Gambar 1.1 Peta Lokasi Bendungan Gondang**

*Sumber: Google Maps*



**Gambar 1.2 Peta Topografi**

*Sumber: Laporan Pembangunan Bendungan Gondang Mei 2014*



**Gambar 1.3 Layout Bendungan Gondang**

*Sumber: Laporan Progres Bendungan Gondang Juni 2017*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB 2**

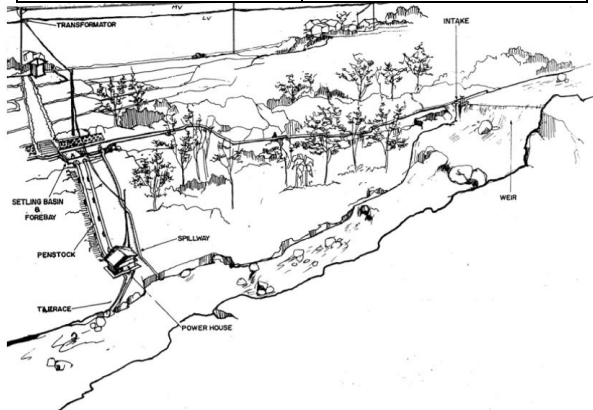
### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Definisi PLTMH**

Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTMH), biasa disebut minihidro, adalah suatu pembangkit listrik skala kecil ( $0,1 - < 1$  MW) yang menggunakan tenaga air sebagai penggerakannya, misalnya saluran irigasi, sungai atau air terjun alam, dengan cara memanfaatkan tinggi terjunnya (head, dalam meter) dan jumlah debit airnya ( $m^3/detik$ ). Tabel 2.1 menunjukkan jangkauan besar daya listrik yang dihasilkan oleh PLTMH. Gambar 2.1 menunjukkan contoh keseluruhan sistem PLTMH. Umumnya PLTMH yang dibangun jenis run off river dimana head diperoleh tidak dengan membangun bendungan besar, melainkan dengan mengalihkan aliaran air sungai ke satu sisi dari sungai dan menjatuhkannya lagi ke sungai pada suatu tempat dimana beda tinggi yang diperlukan sudah diperoleh. Dengan menggunakan pipa, air dialirkan ke power house (rumah pembangkit) yang biasanya dibangun di pinggir sungai. Melalui nosel air akan menyemprot keluar memutar roda turbin (runner), kemudian air tersebut dikembalikan ke sungai asalnya. Energi mekanik putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator. (*Sumber : Manual Pembangunan PLTMH, JICA*)

**Tabel 2.1 Jangkauan besar daya listrik berdasar jenis Hydropower**  
*(Sumber : Hydropower, IPCC)*

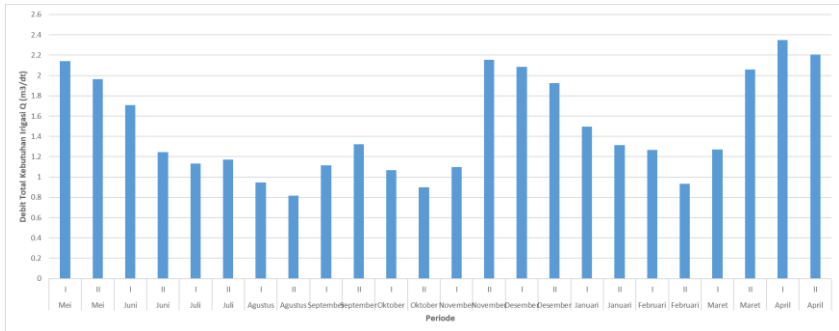
Jenis Hydropower	Besar Daya
Pico	< 0,0005 MW
Micro	> 0,0005 - 0,1 MW
Mini	0,1 - < 1 MW
Small	> 1-100 MW
Medium	> 100 - 500 MW
Large	> 500 MW



**Gambar 2.1 Bagian bagian sebuah PLTMH**  
*(Sumber : Manual Pembangunan PLTMH, JICA)*

## 2.2 Analisa Debit

Debit rencana yang akan dimanfaatkan sebagai inflow pembangkit listrik adalah debit kebutuhan irigasi daerah irigasi bendungan gondang selama setahun seperti pada gambar 2.2. Data debit ini diolah menjadi grafik duration curve (Gambar 2.3), dan diambil debit andalan sebesar 80%.



**Gambar 2.2 Grafik Data Debit Kebutuhan Irigasi dan Air Baku Bendungan Gondang**  
*(Sumber : Laporan Pembangunan Bendungan Gondang Mei 2014)*

## 2.3 Analisa Hidrolika

Analisa hidrolika dalam perencanaan PLTMH ini meliputi perhitungan-perhitungan sebagai berikut:

### 2.3.1 Penentuan Tinggi Jatuh

Untuk mendapatkan hasil optimal, PLTMH didesain sedemikian rupa sehingga kehilangan energi yang terjadi tidak lebih dari 10%. (Celso Penche, 1998). Sehingga tinggi jatuh efektif rencana ialah hasil nilai beda tinggi antara muka air di atas pipa pesat hingga elevasi dimana terjadi tumbukan air pada turbin dikurangi 10% nya.

### 2.3.2 Perencanaan Pintu Intake

Bangunan intake berfungsi sebagai tempat pemasukan debit rencana ke dalam pipa pesat yang kemudian dialirkan ke turbin yang mengubah energi kinetik menjadi energi listrik, maupun ke dalam waterway yang berfungsi sebagai pemenuh kebutuhan air untuk irigasi. Bentuk intake yang dipakai untuk tugas akhir ini adalah tower intake sesuai dengan bentuk intake eksisting di Bendungan Gondang. Pada bangunan intake dipasang trashrack yang berfungsi sebagai penyaring agar air yang masuk ke dalam saluran terbebas dari sampah, batang kayu ataupun benda-benda yang dapat mengganggu aliran.

$$Q_{\text{intake}} = \mu \times a \times b \times \sqrt{2gz}$$

Dimana:

Q = debit rencana (m<sup>3</sup>/s);

μ = koefisien debit;

g = percepatan gravitasi (= 9.8 m/det<sup>2</sup>);

a = tinggi bersih bukaan (m);

b = lebar bersih bukaan (m);

z = kehilangan tinggi energi pada bukaan (m).

### 2.3.3 Perencanaan Penstock

#### 1. Menghitung diameter penstock

Untuk menghitung diameter pipa pesat digunakan perumusan berikut:

$$D = 2.69 \left( \frac{n^2 Q^2 L}{H} \right)^{0.1875}$$

Dimana:

D = diameter penstock (m)

Q = debit rencana minimum (m<sup>3</sup>/s)

n = Koefisien manning bahan pipa pesat

L = Panjang penstock (m)

H = Tinggi energi bruto (m)

(Sumber : *Guide on How to Develop a Small Hydro Site*, ESHA 2014)



## 2. Menghitung ketebalan penstock

Untuk menghitung ketebalan pipa pesat digunakan perumusan berikut:

$$t_0 = \frac{P \times d}{2 \times \theta \times a \times \eta} + \delta t \text{ (cm) dan } t_0 \geq 0.4 \text{ cm}$$

atau  $t_0 \geq (d+80) / 40 \text{ cm}$

Dimana:

$t_0$  = ketebalan minimum pipa

$P$  = disain tekanan air yaitu tekanan hidrostatik + water hammer (kgf/cm<sup>2</sup>) , dalam skema minihidro.  $P = 1.1 \times$  tekanan hidrostatik.

$D$  = diameter dalam (cm)

$\Theta a$  = stress yang dapat diterima (kgf/cm<sup>2</sup>)  
SS400: 1300kgf/cm<sup>2</sup>

$H$  = efisiensi pengelasan (0.85 ~ 0.9)

$\delta t$  = margin (pada umumnya 0.15 cm)

(Sumber : *Manual Pembangunan PLTMH, JICA*)

### 2.3.4 Perencanaan Surge tank

Dalam perencanaan surge tank, diperlukan panjang penstock yang dibutuhkan. Jika panjang penstock  $< 5 H_{\text{gross}}$  maka surge tank tidak diperlukan. Jika panjang penstock  $> 5 H_{\text{gross}}$  maka surge tank diperlukan.

Dalam perhitungan ini dilakukan perhitungan waktu yang dibutuhkan untuk air menjadi tenang dengan rumus :

$$t_h = \frac{V \times L}{gH}$$

Dimana:

$L$  = panjang penstock (m)

$V$  = kecepatan aliran dari penstock (m/s)

$H$  = tinggi energi efektif (m)

Jika  $t_h$  lebih kecil dari 3 detik, surge tank tidak diperlukan. Jika  $t_h$  lebih besar dari 6 detik, surge tank diperlukan.

(Sumber : *Guide on How to Develop a Small Hydro Site, ESHA 2014*)

Perhitungan surge tank meliputi diameter dan tinggi yang diperlukan. Berikut perhitungan luas penampang surge tank :

$$A_s = \frac{V^2}{2g} \times \frac{L \times A_t}{\Delta H_{loss} \times (H_{gross} - \Delta H_{loss})}$$

Dimana:

$A_s$  = Luas penampang surge tank

$\Delta H_{loss}$  = Total kehilangan tinggi hingga akhir headrace

$L$  = Panjang headrace

$A_t$  = Luas penampang headrace

$V$  = Kecepatan aliran dalam headrace

(Sumber : Pembangkit Listrik Tenaga Air; MM. Dandekar, K.N. Sharma)

Berikut perhitungan untuk mencari ketinggian air maksimum diatas muka air waduk :

$$Z_m = V \times \sqrt{\frac{L_{pst} \times A_{hrt}}{g \times A_{t_{srt}}}}$$

Dimana:

$Z_m$  = Ketinggian loncatan air

$L_{pst}$  = Panjang pipa pesat sebelum surge tank (headrace)

$A_{hrt}$  = Luas penampang pipa pesat sebelum surge tank (headrace)

$A_{t_{srt}}$  = Luas penampang surge tank

$g$  = Gravitasi bumi (9.81 m/dt<sup>2</sup>)

(Sumber : Pembangkit Listrik Tenaga Air; MM. Dandekar, K.N. Sharma)

### 2.3.5 Perhitungan Kehilangan Energi

Hidrolis pipa meliputi mayor losses, minor losses dan perhitungan Hnetto turbin.

#### 1. Mayor losses (kehilangan energi primer)

Kehilangan energi primer adalah kehilangan energi yang disebabkan gesekan didalam pipa.

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

dimana:

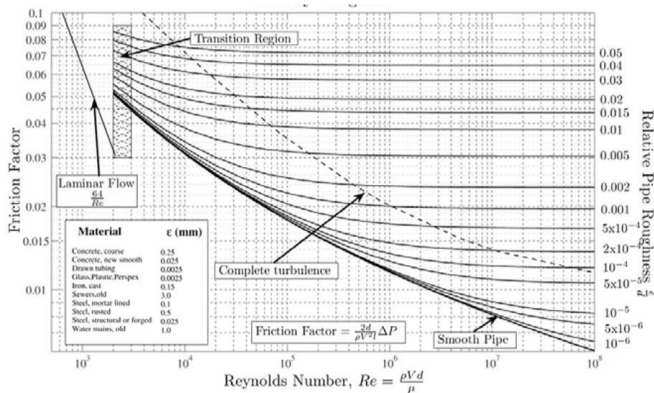
$f$  = Koefisien berdasarkan grafik moody (Gambar 2.3);

$L$  = Panjang pipa (m);

$D$  = Diameter pipa (m);

$V$  = Kecepatan Aliran (m<sup>2</sup>/s);

$g$  = Percepatan gravitasi (m<sup>2</sup>/det).



**Gambar 2.3 Diagram Moody**

(Sumber: [https://en.wikipedia.org/wiki/Moody\\_chart](https://en.wikipedia.org/wiki/Moody_chart))

2. Minor losses (kehilangan energi sekunder)

a. Apabila ada trash rack pada awalan penstock dapat dihitung dengan rumus :

$$h_r = \frac{\left[k \left(\frac{t}{b}\right)^3 \sin \alpha \cdot v_0^2\right]}{2g}$$

dimana:

- k = Koefisien losses untuk elemen;
- t = Tebal elemen (cm);
- b = Celah antar 2 elemen (cm);
- $\alpha$  = Sudut kemiringan trash rack ( $^\circ$ );
- Q = Debit air yang direncanakan (m<sup>3</sup>/det);
- V<sub>o</sub> = Kecepatan rata-rata dalam aliran (m<sup>3</sup> /det).

b. Kehilangan energi pada awal pipa

$$h_f = k \times \frac{v^2}{2g}$$

dimana :

- k = Koefisien bentuk ujung pipa;
- k = 0,5 untuk bentuk persegi / tegak,
- k = 0,05 untuk bentuk yang dibulatkan;
- v = Kecepatan Aliran (m<sup>2</sup>/s);
- g = Percepatan gravitasi (m<sup>2</sup>/det).

c. Kehilangan energi pada belokan pipa

$$h_e = K_b \times \frac{v^2}{2g}$$

dimana :

- k = Koefisien belokan pipa;
- v = Kecepatan Aliran (m<sup>2</sup>/s);
- g = Percepatan gravitasi (m<sup>2</sup>/det).

**Tabel 2.2 Koefisien Sudut Belokan Pipa**  
*(Sumber: Hidrolika II, Bambang Triatmodjo)*

$\alpha$	20°	40°	60°	80°	90°
Kb	0,05	0,14	0,36	0,74	0,98

d. Kehilangan energi pada outlet pipa

$$h_e = 1 \times \frac{v^2}{2g}$$

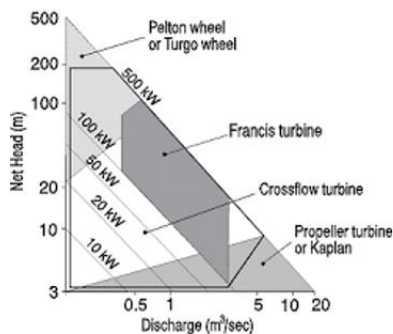
dimana :

$v$  = Kecepatan Aliran (m/s);

$g$  = Percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>).

### 2.3.6 Penentuan Jenis Turbin

Jenis turbin ditentukan berdasarkan tinggi energi dan besar debit yang dialirkan. Jenis turbin ditentukan menggunakan grafik pada gambar 2.4.



**Gambar 2.4 Grafik Penentu Jenis Turbin**  
*(Sumber: Celco Penche, 1998)*

### 2.3.7 Perencanaan Pondasi Rumah Pembangkit

Berbagai tipe pondasi rumah pembangkit dapat dipertimbangkan tergantung pada tipe turbin. Bagaimanapun tipe pondasi untuk rumah pembangkit dapat diklasifikasikan ke dalam ‘untuk Turbin Impulse’ (seperti turbin Pelton, turbin Turgo dan turbin Crossflow) dan ‘untuk Turbin Reaction’ (turbin Francis, turbin Propeller).

#### 1. Pondasi untuk turbin impulse

Pada turbin impulse, air yang dilepaskan oleh runner, secara langsung dikeluarkan ke dalam udara di tailrace. Permukaan air dibawah turbin akan bergelombang. Oleh karena itu jarak bebas antara dasar rumah pembangkit dengan permukaan air di afterbay harus dijaga paling tidak 30 - 50 cm. Kedalaman air (hc) di afterbay dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$hc = \left( \frac{1.1 \times Qd^2}{9.8 \times b^2} \right)^{1/3}$$

dimana,

hc : kedalaman air di afterbay (m)

Qd: disain debit (m<sup>3</sup>/s)

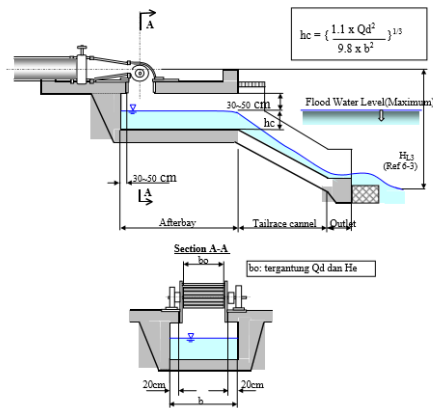
b : lebar saluran tailrace (m)

#### 2. Pondasi untuk turbin reaksi

Pada turbin reaction, head antara turbin dan level air dapat digunakan untuk membangkitkan tenaga. Sehingga adalah memungkinkan bahwa turbin dipasang dibawah level air banjir pada kondisi untuk melengkapi peralatan berikut.

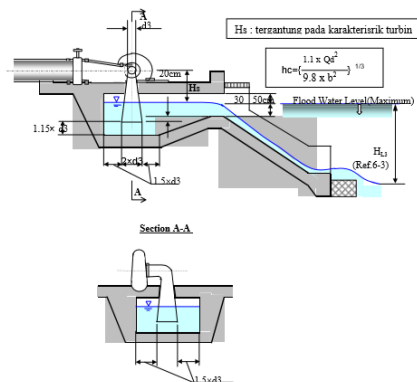
a. Pintu Tailrace

b. Pompa di rumah pembangkit



**Gambar 2.5 Pondasi Rumah Pembangkit untuk Turbin Impulse (turbin Crossflow)**

(Sumber : Manual Pembangunan PLTMH, JICA)



**Gambar 2.6 Pondasi Rumah Pembangkit untuk Turbin Reaction (turbin Francis)**

(Sumber : Manual Pembangunan PLTMH, JICA)

## 2.4 Perhitungan Energi Listrik

Energi listrik dihitung dengan mengalikan daya listrik yang didapat dengan satuan waktu (O.F. Patty, 1995). Rumus yang digunakan ialah:

$$P = H_{eff} \times Q \times g \times \eta$$

$$E = P \times t = H_{eff} \times Q \times g \times \eta \times t$$

dimana:

E = Energi listrik (Kwh);

P = Daya terbangkit (Kw);

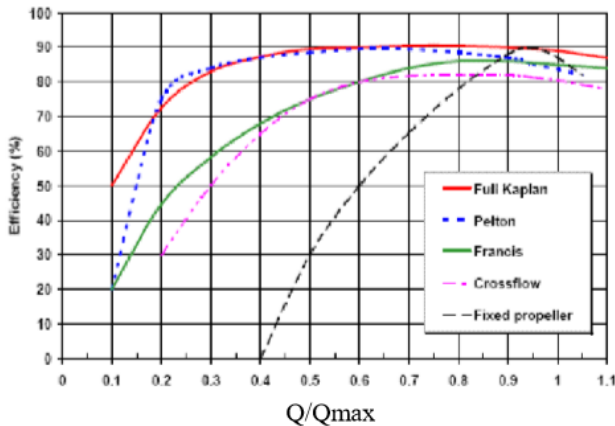
$H_{eff}$  = Tinggi terjun bersih (m);

$\eta$  = Efisiensi (berdasarkan gambar 2.8);

Q = Debit andalan ( $m^3/dt$ );

g = Gaya gravitasi bumi ( $m/dt^2$ ).

t = waktu (jam).



**Gambar 2.7 Diagram efisiensi turbin**

(Sumber : British Hydro Association)



## **BAB 3 METODOLOGI**

Tahap-tahap dalam pengerjaan tugas akhir ini diuraikan menjadi beberapa poin yang berurutan, yaitu sebagai berikut:

### **4.1 Tahap Persiapan**

Dalam tahap persiapan, hal-hal yang akan dipersiapkan adalah:

1. Dasar Teori Mempersiapkan dasar-dasar teori, peraturan dan perumusan yang akan dipakai dari sumber yang relevan. Beberapa sumber teori yang akan dipakai antara lain seperti buku “Guidebook on How to Develop a Small Hydro Site” oleh Celso Penche serta buku-buku atau jurnal lain yang terkait.
2. Pengumpulan Data yang digunakan adalah data sekunder berupa data teknis Bendungan Gondang dari Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo Jawa Tengah.

### **4.2 Tahap Analisa**

Analisa dan pengolahan data yang telah dikumpulkan meliputi:

#### **3.2.1. Analisa Debit**

Pada lokasi perencanaan PLTMH ini berada pada Bendungan Gondang dimana data terkait debit yang dibutuhkan sudah tersedia. Data yang digunakan adalah data debit kebutuhan irigasi dan air baku. Dari data debit tersebut untuk menentukan debit andalan sebesar 80%.

#### **3.2.2. Penentuan Tinggi Bruto yang tersedia**

Beda tinggi merupakan salah satu faktor yang menentukan perencanaan pembangkit listrik serta daya listrik

yang dihasilkan. Tahap ini dilakukan dengan melihat gambar perencanaan Bendungan Gondang.

### **3.2.3. Analisa dan Perencanaan Hidrolika**

Tahap ini menganalisa dan merencanakan aspek hidrolika yang meliputi sistem pengambilan air, hingga sistem penyaluran air dengan syarat kehilangan energy  $< 10 \%$  Tinggi Bruto.

### **3.2.4. Menentukan Beda Tinggi Energi Efektif**

Untuk menganalisa beda tinggi energi efektif dilakukan perhitungan kehilangan energi yang nantinya akan menjadi pengurang dari tinggi energi bruto.

### **3.2.5. Penentuan Jenis Turbin**

Jenis turbin yang akan digunakan ditentukan berdasarkan parameter prediksi potensi yang tersedia dari analisa sebelumnya.

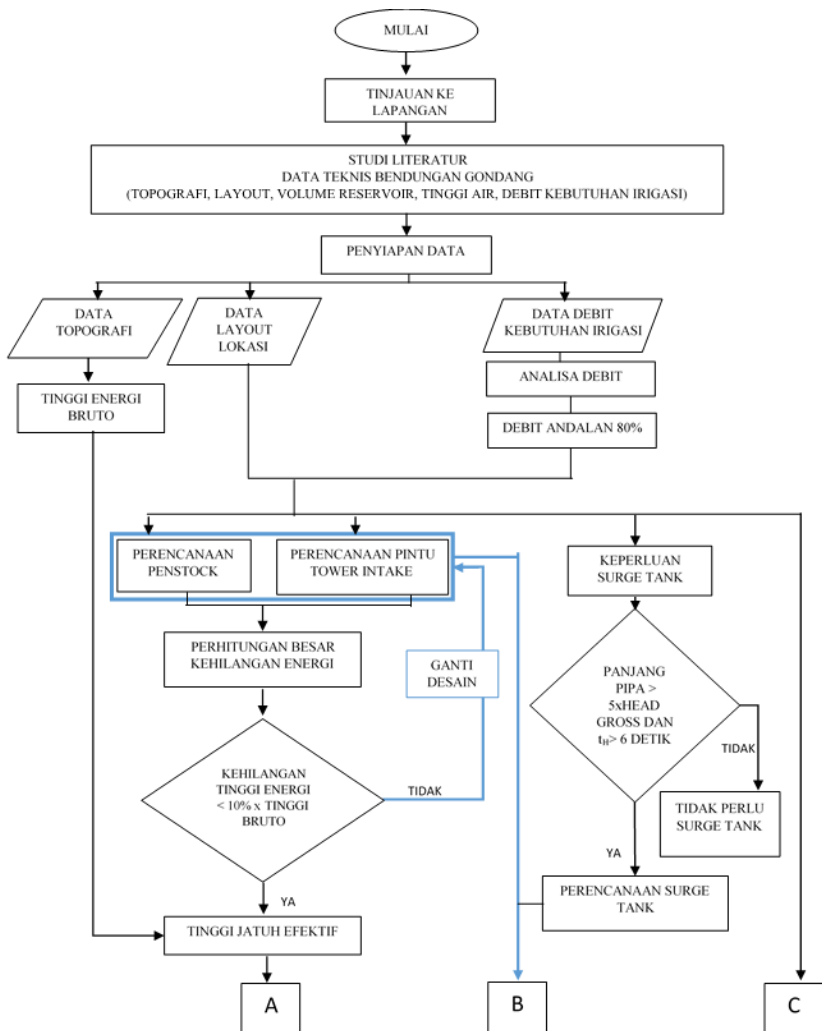
### **3.2.6. Analisa Daya yang Dihasilkan**

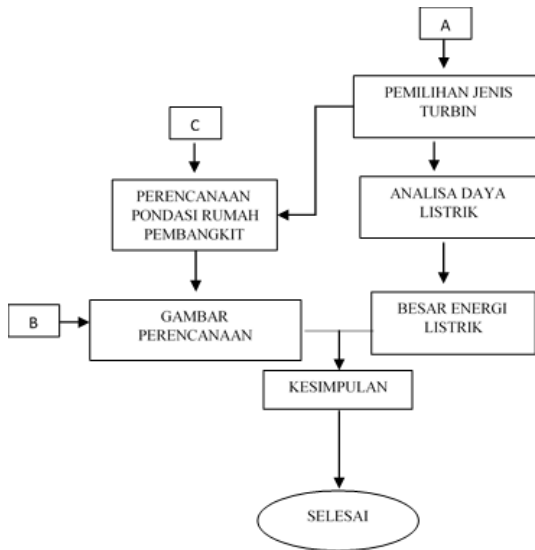
Pada tahap ini hasil dihitung besar daya yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga mini yang direncanakan dalam jangka waktu setahun.

## **4.3 Kesimpulan**

Hasil perencanaan Tugas Akhir ini adalah gambar perencanaan Pembangkit Listrik Mini Hidro serta besar daya yang dapat dihasilkan.

Metodologi pengerjaan tugasakhir ini digambarkan pada *flowchart* yang dapat dilihat pada gambar 3.1.





**Gambar 3.1** *Flowchart* pengerjaan tugas akhir  
(Sumber: Data pribadi, 2017)

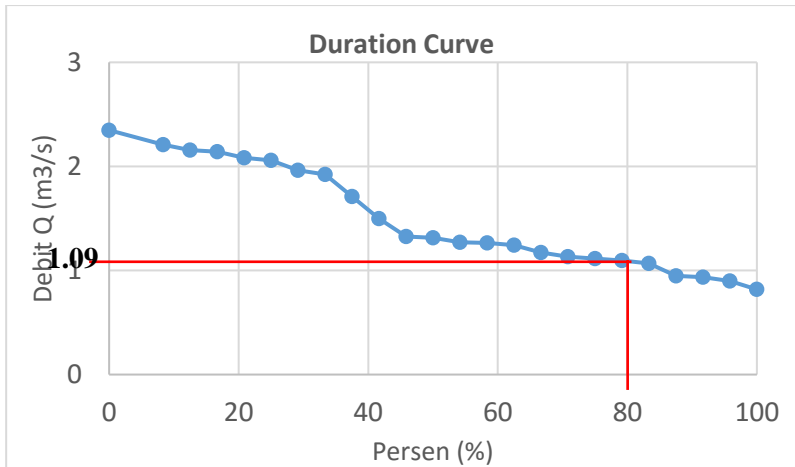
## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Analisa Debit Andalan**

Debit andalan dicari berdasarkan probabilitas terjadinya tiap debit yang melimpas. Data yang digunakan dalam perhitungan merupakan data debit kebutuhan irigasi bendungan Gondang Karanganyar. Untuk mengetahui probabilitas tiap debit tersebut dilakukan langkah-langkah berikut:

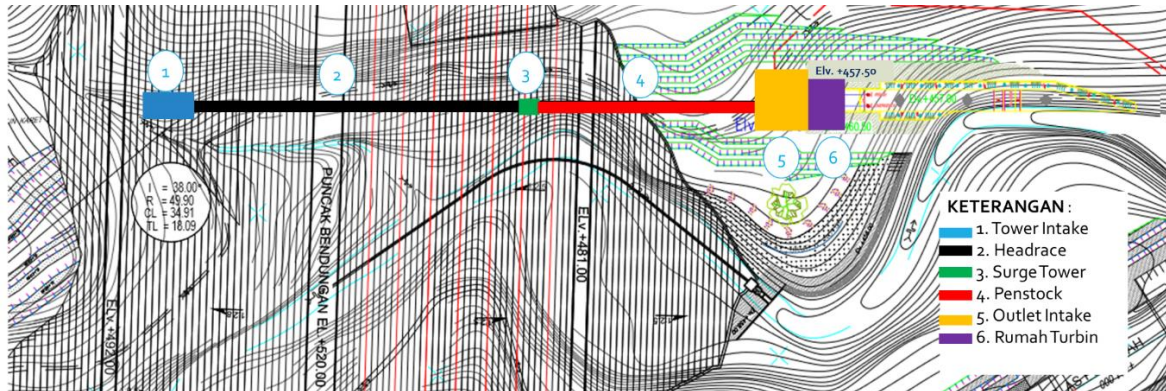
1. Mengurutkan seluruh data yang tersedia
2. Menentukan frekuensi terjadinya debit pada setiap data debit dalam kumpulan data debit dengan pengertian bahwa ketika terjadi debit yang lebih besar maka debit yang ditinjau juga muncul sehingga bisa dianggap frekuensi yang dimaksud merupakan jumlah data debit yang melampaui data debit itu sendiri.
3. Maka didapatkan data probabilitas tiap debit yang nantinya ditentukan untuk mengetahui berapa persen debit yang direncanakan dapat diandalkan.
4. Setelah data probabilitas tiap debit didapatkan, dibuat grafik duration curve (gambar 4.1). Dalam Tugas Akhir ini digunakan debit andalan sebesar 80%, sehingga didapatkan debit sebesar 1.09 m<sup>3</sup>/det.



**Gambar 4.1 Duration Curve Debit Kebutuhan Irigasi  
Bendungan Gondang**  
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2018)

#### 4.2. Plotting Awal Perencanaan Komponen PLTMH

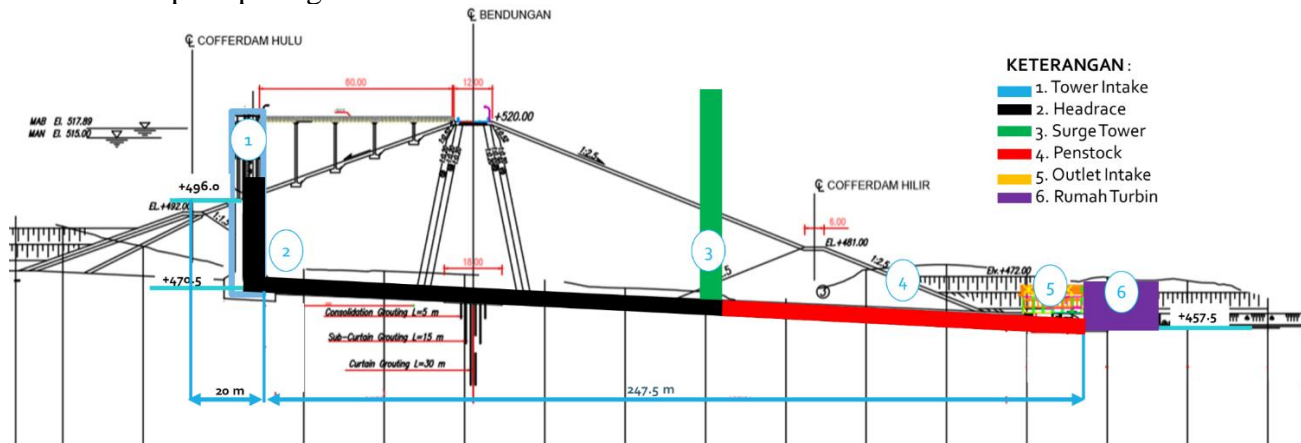
Dalam plotting perencanaan komponen PLTMH telah dilakukan penentuan letak dan elevasi berdasarkan data topografi yang ada. Letak dan elevasi komponen PLTMH dapat dilihat pada gambar 4.2 dan gambar 4.3. Berikut plotting denah untuk perencanaan komponen PLTMH.



**Gambar 4.2 Plotting Denah Perencanaan Komponen PLTMH**

(Sumber : Data Pribadi, 2018)

Berikut plotting tampak samping untuk perencanaan komponen PLTMH. Letak dan elevasi tercantum seperti pada gambar 4.3.



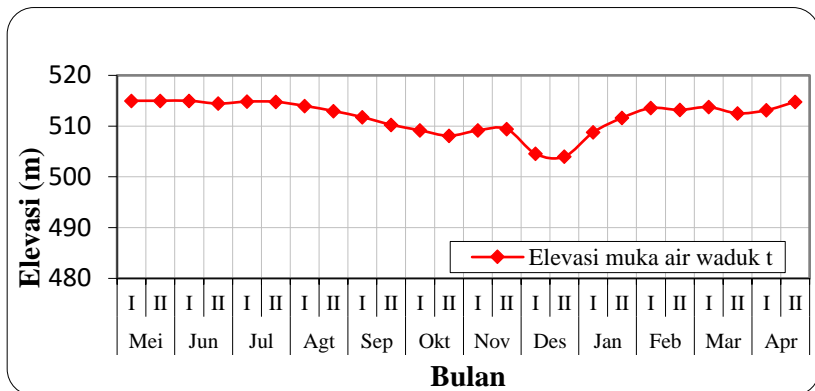
**Gambar 4.3 Plotting Tampak Samping Komponen PLTMH**

(Sumber : Data Pribadi, 2018)



### 4.3. Penentuan Tinggi Jatuh Bruto

Perencanaan rumah turbin ditentukan pada elevasi +457,50 m seperti pada plotting perencanaan. Menurut data perencanaan bendungan Gondang Karanganyar, tinggi elevasi muka air waduk terendah yaitu pada elevasi +504 m (gambar 4.4). Maka dari itu, tinggi jatuh bruto yang didapat sebesar 46,5 m.



**Gambar 4.4 Data Elevasi Muka Air Waduk Sepanjang Tahun**

(Sumber : Laporan Pembangunan Bendungan Gondang Mei 2014)

### 4.4. Analisa Hidrolika

Analisa hidrolika dalam perencanaan PLTMH ini meliputi perhitungan-perhitungan sebagai berikut:

#### 4.4.1 Perencanaan Pintu Intake

Dalam perhitungan perencanaan pintu intake ini digunakan debit rencana sebesar  $120\% \times Q_{\text{andalan}}$ . Penggunaan  $120\% \times Q_{\text{andalan}}$  ini bertujuan untuk meningkatkan fleksibilitas pintu intake dan agar dapat memenuhi kebutuhan yang lebih tinggi selama umur proyek.

**Diketahui :**

$$Q_{intake} = 120\% \times Q_{andalan}$$

$$= 120\% \times 1,09 = 1,308 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\mu = 0,8 \text{ (Koefisien debit bukaan dibawah permukaan air)}$$

$$z = 0,15 \text{ m (asumsi awal kehilangan energi pada bukaan dengan range 0,15-0,30 m)}$$

$$\textbf{Rumus : } Q_{intake} = \mu \times a \times b \times \sqrt{2gz}$$

**Perhitungan :**

$$1,308 = 0,8 \times a \times b \times \sqrt{2 \times 9,8 \times 0,15}$$

$$0,95355 = a \times b$$

$$a = 0,7946 \text{ m} \sim 1 \text{ m (asumsi } b = 1,2 \text{ m)}$$

$$2gz \text{ asli} = \left( \frac{Q_{intake}}{a \times b} \right)^2$$

$$2gz \text{ asli} = \left( \frac{1,308}{1 \times 1,2} \right)^2$$

$$z \text{ asli} = 0,095 \text{ m}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, direncanakan tinggi pintu intake (a) sebesar 1 m dan lebar pintu intake (b) sebesar 1,2 m. Kehilangan tinggi energi pada pintu sebesar 0,095 m.

#### 4.4.2 Perencanaan Penstock

Panjang penstock dalam perencanaan ini sepanjang 291,5 m. Pipa yang digunakan ialah pipa baja. Alasan digunakan pipa ini ialah pipa ini cukup kuat untuk menahan beban tanah dan tekanan air yang tinggi. Pipa berbahan baja juga populer untuk digunakan sebagai pilihan pipa penstock dalam perencanaan pembangkit listrik tenaga air. Pipa baja mempunyai kekasaran manning sebesar 0,012 dan diameter maksimum pipa baja yang dapat direncanakan sebesar 3 m.

	Pipa Besi		
	Pipa Baja	Pipa Ductile Iron	Pipa Spiral Welded
Karakteristik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Populer menjadi pilihan untuk pipa penstock dalam pembangkit listrik tenaga air</li> <li>• Bahan yang baik untuk desain teknik yang ada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sering dipakai untuk suplai air, saluran, irigasi dan pipa industri</li> <li>• Secara umum digunakan dengan ditanam meskipun penggunaan di tempat terbuka memungkinkan</li> <li>• Tahanan tinggi terhadap tekanan eksternal maupun internal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sejumlah contoh penggunaan untuk jaringan pemipaan</li> <li>• Pada dasarnya digunakan untuk ditanam karena untuk menyembunyikan jahur spiral pengelasan</li> <li>• Dapat digunakan sebagai lapisan pipa besi</li> </ul>
Diameter Maksimum Pipa (mm)	mendekati Ø3,000	Ø2,600	Ø2,500
Tekanan di dalam yang diijinkan (kgf/cm <sup>2</sup> )	133	mendekati 40	15
Hydraulic Property (n)	0.010 – 0.014 (umumnya mendekati 0.012)	0.011 – 0.015 (umumnya mendekati 0.012)	-

**Gambar 4.5 Bahan pipa penstock untuk pembangkit listrik tenaga air skala kecil**

(Sumber : Manual Pembangunan PLTMH, JICA)

Berikut perencanaan diameter pipa penstock:

**Diketahui** : L penstock = 291,5 m  
                   H bruto = 46,5 m  
                   n pipa = 0,012  
                               Q = 1,09 m<sup>3</sup>/s

**Rumus** :  

$$D = 2,69 \left( \frac{n^2 Q^2 L}{H} \right)^{0.1875}$$

**Perhitungan :**

$$D = 2,69 \left( \frac{0,012^2 \cdot 1,09^2 \cdot 291,5}{H} \right)^{0,1875}$$

$$D = 0,7464 \text{ m} \sim 0,9 \text{ m} < 3 \text{ m (ok)}$$

Untuk perhitungan ketebalan pipa penstock yang direncanakan, faktor yang mempengaruhi ialah tekanan ijin pipa, efisiensi pengelasan, dan desain tekanan air yang direncanakan. Pipa baja yang digunakan mempunyai tekanan dalam pipa yang diijinkan sebesar 133 kgf/cm. Efisiensi pengelasan yang digunakan dalam perencanaan bernilai antara 0,85 – 0,9.

Desain tekanan air yang digunakan yaitu tekanan hidrostatik dengan mempertimbangkan adanya water hammer. Ketebalan pipa yang direncanakan harus sesuai dengan syarat yang ada. Berikut adalah perhitungan ketebalan penstock.

**Diketahui :**

$$\text{Tekanan ijin pipa } (\theta a) = 133 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Tekanan air (P)} &= 1,1 \times \rho \times g \times H \\ &= 1,1 \times 1000 \times 9,8 \times 46,5 \\ &= 501270 \text{ N/m}^2 \\ &= 5,11145 \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Koef pengelasan } (\eta) = 0,9 \quad (\text{range : } 0,85 - 0,9)$$

$$\text{Margin } (\delta t) = 0,15 \text{ cm}$$

$$\text{Diameter pipa (d)} = 0,9 \text{ m} = 90 \text{ cm}$$

$$\text{Rumus : } t_0 = \frac{P \times d}{2 \times \theta \times a \times \eta} + \delta t \text{ (cm)} ;$$

$$t_0 = \geq 0,4 \text{ cm} ; t_0 \geq (d+80) / 40 \text{ cm}$$

Perhitungan :

$$t_0 = \frac{5,11145 \times 90}{2 \times 133 \times 0,9} + 0,15 \text{ (cm)}$$

$$= 2,28511 \text{ cm} \sim 2,5 \text{ cm} \geq 0,4 \text{ cm (ok)}$$

$$t_0 \geq (90+80)/40 \text{ cm}$$

$$\geq 4,25 \text{ cm} \sim 5 \text{ cm}$$

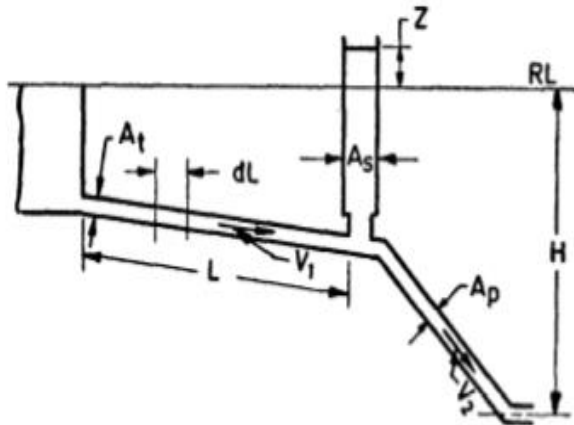
Maka digunakan tebal pipa sebesar 5 cm

#### 4.4.3 Keperluan Surge Tank

Dalam penentuan dibutuhkannya perencanaan surge tank, ada dua syarat yang harus ditinjau. Pertama ditinjau dari panjang penstock. Jika panjang penstock  $< 5 H_{\text{gross}}$  maka surge tank tidak diperlukan. Jika panjang penstock  $> 5 H_{\text{gross}}$  maka surge tank diperlukan.

Kedua ditinjau dari lama waktu air untuk menjadi tenang. Dalam perhitungan ini dilakukan perhitungan waktu yang dibutuhkan untuk air menjadi tenang. Jika  $t_h$  lebih kecil dari 3 detik, surge tank tidak diperlukan. Jika  $t_h$  lebih besar dari 6 detik, surge tank diperlukan.

Jika panjang penstock  $> 5 H_{\text{gross}}$  dan  $t_h$  lebih besar dari 6 detik, maka dalam Tugas Akhir ini akan dilakukan perhitungan untuk perencanaan surge tank. Surge tank yang akan direncanakan yaitu *simple surge tank* (gambar 4.5)



**Gambar 4.6 Simple Surge Tank**

(Sumber : Indian Standard Criteria For Hydraulic Design Of Surge Tanks)

Berikut adalah perhitungan keperluan surge tank :

$$\begin{aligned}
 \text{Diketahui} \quad : L \text{ penstock} &= 291,5 \text{ m} \\
 Q \text{ desain} &= 1,09 \text{ m}^3/\text{s} \\
 A &= \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \\
 &= 3,14 \times \left(\frac{0,9}{2}\right)^2 = 0,636 \text{ m}^2 \\
 V &= \frac{Q_{\text{desain}}}{A} \\
 &= \frac{1,09}{0,636} = 1,714 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

$$H_{\text{gross}} = 46,5 \text{ m}$$

$$\text{Rumus} \quad : L \text{ penstock} = 5 \times H_{\text{gross}} \quad ;$$

$$\begin{aligned}
 \text{Perhitungan} \quad : 291,5 \text{ m} &= 5 \times 46,5 \text{ m} \\
 291,5 \text{ m} &> 232,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\text{Rumus} \quad : \quad t_h = \frac{V \times L}{g \times H}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Perhitungan} \quad : \quad t_h &= \frac{1,714 \times 291,5}{9,8 \times 46,5} \\
 &= 1,097 \text{ s} < 6 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan kesimpulan bahwa perencanaan dalam Tugas Akhir ini diperlukan surge tank. Berikut, perhitungan luas surge tank yang diperlukan.

**Diketahui** :

$$L \text{ headrace} = 177,32 \text{ m}$$

$$\text{Luas penampang headrace (At)} = 0,636 \text{ m}^2$$

$$V \text{ headrace} = 1,714 \text{ m/s}$$

$$\Delta H_{loss} \text{ sampai surge tank} = 1,28 \text{ m}$$

**Rumus :**

$$As = \frac{V^2}{2g} \times \frac{L \times At}{\Delta H_{loss} \times (H_{gross} - \Delta H_{loss})}$$

**Perhitungan :**

$$As = \frac{1.714^2}{2 \times 9.8} \times \frac{177,32 \times 0.636}{1,28 \times (46.5 - 1,28)}$$

$$As = 0,292 \text{ m}^2$$

$$\text{Diameter} = 0,536 \text{ m} \sim 1,2 \text{ m}$$

$$As = 1,13 \text{ m}^2$$

Maka digunakan diameter surge tank sebesar 1,2 m

**Diketahui :** L headrace = 177,32 m

Luas penampang headrace (At) = 0,636 m<sup>2</sup>

$$V \text{ headrace} = 1,714 \text{ m/s}$$

$$As = 1,13 \text{ m}^2$$

$$\text{Rumus : } Z_m = V \times \sqrt{\frac{L_{pst} \times A_{hrt}}{g \times At_{srt}}}$$

$$\text{Perhitungan: } Z_m = 1,714 \times \sqrt{\frac{177,32 \times 0.636}{9.8 \times 1,13}}$$

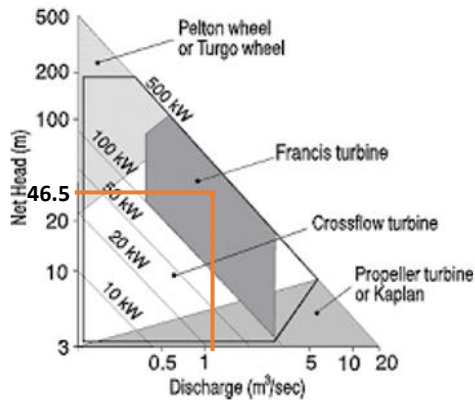
$$Z_m = 5,42 \text{ m}$$

Dari perhitungan didapat tinggi air diatas permukaan air waduk sebesar 5,42 m.



#### 4.4.4 Penentuan Jenis Turbin

Dengan tinggi jatuh bruto sebesar 46.5 m dan debit perencanaan sebesar  $1.09 \text{ m}^3/\text{det}$ , maka jenis turbin yang digunakan adalah turbin francis.

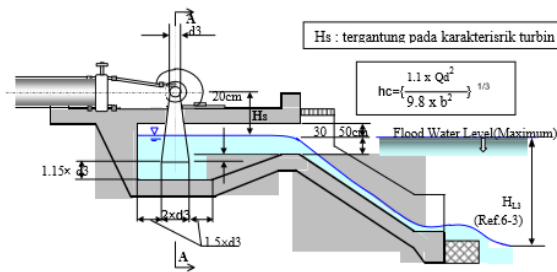


**Gambar 4.7 Grafik Penentu Jenis Turbin**

(Sumber: Celco Penche, 1998)

#### 4.4.5 Perencanaan Pondasi Rumah Pembangkit

Berdasarkan dari grafik, jenis turbin yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah turbin Francis. Perencanaan pondasi rumah pembangkit tergantung pada jenis turbin yang digunakan. Turbin Francis tergolong ke dalam jenis turbin reaction. Berikut perhitungan pondasi rumah pembangkit turbin reaction:



**Gambar 4.8 Pondasi Rumah Pembangkit untuk Turbin Reaction (turbin Francis)**

(Sumber : Manual Pembangunan PLTMH, JICA)

**Diketahui** :  $Q_{\text{desain}} = 1,09 \text{ m}^3/\text{s}$

$b \text{ saluran} = 0,9 \text{ m}$

**Rumus** :  $hc = \left( \frac{1.1 \times Q d^2}{9.8 \times b^2} \right)^{1/3}$

**Perhitungan** :  $hc = \left( \frac{1.1 \times 1.09^2}{9.8 \times 0.9^2} \right)^{1/3}$

$hc = 0,548 \text{ m} \sim 0,6 \text{ m}$

#### 4.5. Perhitungan Kehilangan Energi

##### 1. *Mayor Losses* (Kehilangan Energi Primer)

Kehilangan energi akibat gesekan didalam pipa

**Diketahui :**

$$V_{\text{pipa}} = 1,714 \text{ m/s}$$

$$D_{\text{pipa}} = 0,9 \text{ m}$$

$$L_{\text{pipa}} = 291,5 \text{ m}$$

$\mu = 0,8$  (Koefisien debit bukaan dibawah permukaan air)

$$\varepsilon = 0,025 \text{ mm} = 0,000025 \text{ m (material baja)}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

**Rumus :**

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

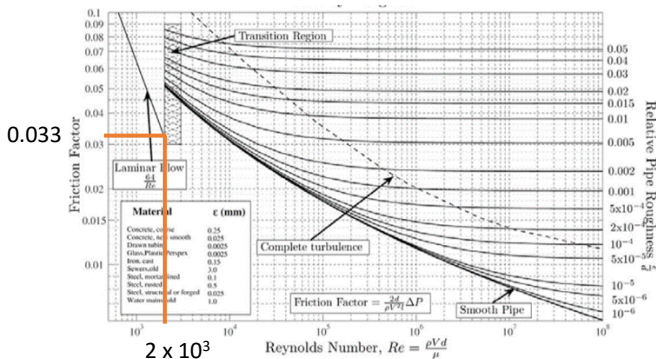
$$\text{Kekasaran pipa} = \frac{\varepsilon}{D_{\text{pipa}}}$$

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

**Perhitungan :**

$$Re = \frac{1000 \times 1.66624 \times 1}{0.8} = 1928,52$$

$$\text{kekasaran pipa} = \frac{0,000025}{0,9} = 0,000028$$



**Gambar 4.9 Diagram Moody**

(Sumber: [https://en.wikipedia.org/wiki/Moody\\_chart](https://en.wikipedia.org/wiki/Moody_chart))

Berdasarkan bilangan Reynolds dan kekasaran pipa, dari diagram moody didapat faktor gesek pipa (f) sebesar 0.033 (gambar 4.9)

$$\begin{aligned} hf &= 0,033 \times \frac{291,5}{1} \times \frac{1.66624^2}{2 \times 9,8} \\ hf &= 1,611 \text{ m} \end{aligned}$$

2. *Minor Losses* (Kehilangan Energi Sekunder)

- a. Kehilangan energi akibat trash rack pada awalan penstock

**Diketahui** :

$$\begin{aligned} k &= 1.8 \text{ (bentuk saringan bulat)} \\ t \text{ (tebal)} &= 5 \text{ mm} = 0.005 \text{ m} > 4 \text{ mm (ok)} \\ \alpha \text{ (sudut)} &= 75^\circ \\ b \text{ (jarak antar kisi)} &= 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m} \\ &\text{(range 5-10 cm)} \\ V_{\text{pipa}} \text{ (Vo)} &= 1,714 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\text{Rumus} : hr = \frac{\left[ k \left( \frac{t}{b} \right)^{\frac{4}{3}} \sin \alpha \cdot v_o^2 \right]}{2g}$$

$$\begin{aligned} \text{Perhitungan: } hr &= \frac{\left[ 1.8 \left( \frac{0.005}{0.1} \right)^{\frac{4}{3}} \sin 75^\circ \cdot 1,714^2 \right]}{2 \times 9,8} \\ &= 0,0048 \text{ m} \end{aligned}$$

- b. Kehilangan energi pada awal pipa

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} : \quad k &= 0,05 \text{ (bentuk bulat)} \\ V &= 1.714 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\text{Rumus} : hf = k \times \frac{v^2}{2g}$$

$$\begin{aligned} \text{Perhitungan} : \quad hf &= 0,05 \times \frac{1.714^2}{2 \times 9,8} \\ &= 0,0075 \text{ m} \end{aligned}$$

- c. Kehilangan energi akibat belokan pada pipa

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} : kb &= 0,98 \text{ (belokan } 90^\circ) \\ V &= 1,714 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\text{Rumus} : hf = kb \times \frac{v^2}{2g}$$

$$\begin{aligned}\text{Perhitungan} \quad : hf &= 0,98 \times \frac{1.714^2}{2 \times 9.8} \times 2 \text{ (2 belokan)} \\ &= 0,2939 \text{ m}\end{aligned}$$

- d. Kehilangan energi pada outlet pipa

$$\text{Diketahui} \quad : \quad V = 1.714 \text{ m/s}$$

$$\text{Rumus} \quad : \quad hf = 1 \times \frac{v^2}{2g}$$

$$\begin{aligned}\text{Perhitungan} \quad : \quad hf &= 1 \times \frac{1.714^2}{2 \times 9.8} \\ &= 0,1499 \text{ m}\end{aligned}$$

3. Kehilangan energi total (*energy loss*)

$$\begin{aligned}\text{Energy loss} &= h_r + hf_{\text{awal}} + hf_{\text{belokan}} + hf_{\text{outlet}} + hf_{\text{gesek}} \\ &= 0,0048 + 0,0075 + 0,2939 + 0,1499 \\ &\quad + 1,611 \\ &= 2,067 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Batas maksimal kehilangan energi} &= 10\% \times H_{\text{bruto}} \\ &= 10\% \times 46,5 \\ &= 4,65 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\text{Energi loss} = 2,067 \text{ m} < 4,65 \text{ m (ok)}$$

Sehingga besar tinggi jatuh efektif dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}H_{\text{eff}} &= H_{\text{bruto}} - \text{Energy loss} \\ &= 46,5 - 2,067 \\ &= 44,433 \text{ m}\end{aligned}$$

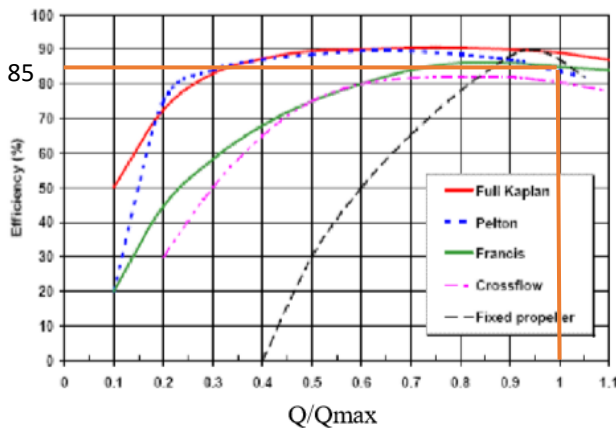
Dimana:

$$\begin{aligned}H_{\text{eff}} &= \text{tinggi jatuh efektif (m);} \\ H_{\text{bruto}} &= \text{perbedaan tinggi muka air di hulu} \\ &\quad \text{dan hilir (m);} \\ \text{Energy loss} &= \text{tinggi kehilangan energi (m).}\end{aligned}$$

#### 4.6. Analisa Daya Listrik

Berdasarkan hasil perencanaan didapat hasil yang menentukan daya dan energi yang dapat dihasilkan dari pembangkit. Daya yang dapat dihasilkan dihitung berdasarkan besar debit yang dapat membuat turbin beroperasi dan juga efisiensi kinerja turbin yang dipengaruhi oleh perbandingan tiap debit yang terjadi terhadap kapasitas debit maksimum pada pipa berdasarkan tabel efisiensi turbin. Berikut perhitungan daya dan energi pada debit maksimum:

Turbin yang digunakan pada perencanaan ini adalah turbin francis. Pada debit maksimum debit yang masuk pipa = kapasitas maksimum dari pipa sehingga  $Q_{\text{pipa}}/Q_{\text{pipamaksimum}} = 1 \rightarrow \eta = 0,85$  (gambar 4.10)



**Gambar 4.10** Diagram efisiensi turbin

(Sumber : British Hydro Association)

Daya yang dihasilkan:

$$\begin{aligned} P &= \eta \times g \times Q \times H_{\text{eff}} \\ &= 0,85 \times 9,81 \times 1,09 \times 44,43 \\ &= 403,433 \text{ kW} \end{aligned}$$

Energi yang dihasilkan:

$$\begin{aligned} E &= P \times 80\% \times 365 \times 24 \\ &= 2.827.256 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Dimana:

$\eta$  = efisiensi turbin;

$g$  = Percepatan gravitasi ( $\text{m}^2/\text{det}$ );

$Q$  = Debit air ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$H_{\text{eff}}$  = tinggi jatuh efektif (m).

Jadi jumlah daya listrik yang dapat dihasilkan dengan debit sebesar  $1,09 \text{ m}^3/\text{dt}$  sebesar  $402,573 \text{ kW}$ . Sedangkan besar energi listrik yang dapat dihasilkan selama satu tahun sebesar  $2.821.229 \text{ kWh}$ .

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Debit yang dimanfaatkan dalam perencanaan ialah sebesar  $1,09 \text{ m}^3/\text{dt}$  dengan probabilitas 80%.
2. Dalam perencanaan pintu intake, direncanakan tinggi pintu intake sebesar 1 m dan lebar pintu intake sebesar 1,2 m.
3. Dalam perencanaan penstock didesain menggunakan pipa baja diameter 0,9 m dengan tebal pipa 5 cm.
4. Dalam perencanaan surge tank didesain dengan diameter 1,2 m dengan tinggi muka air maksimal surge tank terhadap muka air bendungan setinggi 5,42 m.
5. Turbin yang digunakan dalam perencanaan ini ialah turbin Francis.
6. Pada perencanaan Pondasi Rumah Pembangkit didapat sebesar 0,6 m.
7. Kehilangan energi yang terjadi:
  - Akibat gesekan sepanjang pipa = 1,611 m
  - Akibat trashrack = 0,0048 m
  - Akibat pemasukan awal pipa = 0,0075 m
  - Akibat belokan pada pipa = 0.2939 m
  - Akibat outlet pipa = 0,1499 m
  - Total = 2,067 m

Kehilangan energi total yang terjadi kurang dari 10% tinggi jatuh bruto. Maka perencanaan dapat diterima.

8. Tinggi efektif yang tersedia sebesar 44,433 m.
9. Besar energi yang dapat dihasilkan ialah sebesar 2.827.256 kWh.

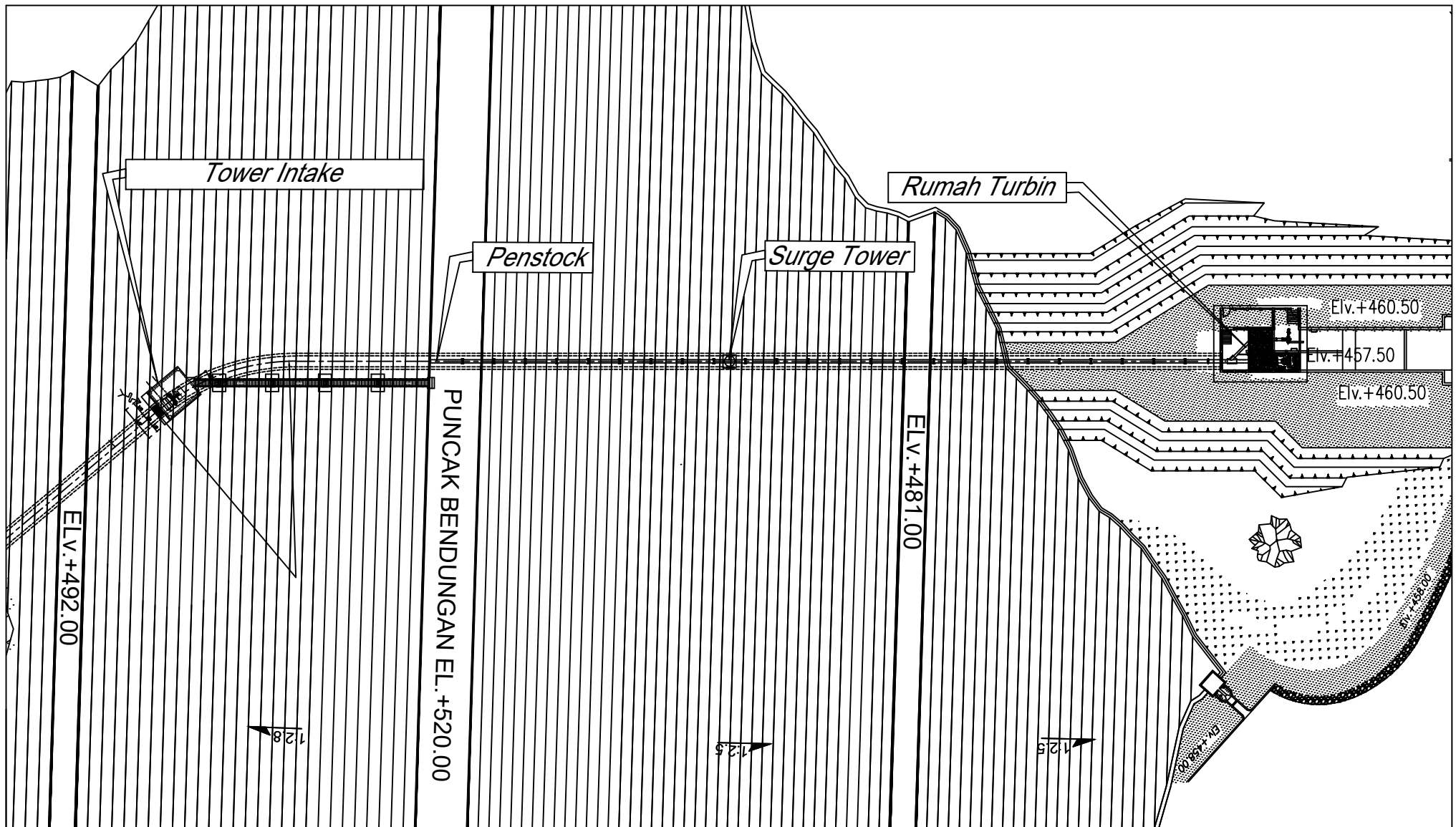
## DAFTAR PUSTAKA

- Adam, Harvey et al, 1993. **Microhydro Design Manual**.  
London : Intermediate Technology Publications.
- Azhar, Faris. 2015. Laporan Tugas Akhir: **Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Bendungan Semantok, Nganjuk, Jawa Timur**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Azmi Dewi Nusantara, Danayanti. 2016. Diktat Kuliah: **Micro Hydropower Case Study**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Chow, Ven Te. 1959. **Open Channel Hydraulics**. Auckland : McGraw-Hill International Book.
- Eko Prabowo, Bramantyo. 2010. Laporan Tugas Akhir: **Pemanfaatan Debit Irigasi Pada Bangunan Terjun Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Japan International Cooperation Agency (JICA). 2010. **Manual Pembangunan PLTMH**. Jakarta : IBEKA (Institut Bisnis dan Ekonomi Kerakyatan).
- Negara, Yudi Putra Wira. Laporan Tugas Akhir: **Perencanaan PLTA UNDIP II, Semarang**. Semarang : Universitas Diponegoro.
- Patty, O.F. 1995. **Tenaga Air**. Jakarta: Erlangga
- Penche, Celso. 2004. **Guidebook on How to Develop a Small Hydro Site**. Belgia : ESHA (European Small Hydropower Association).

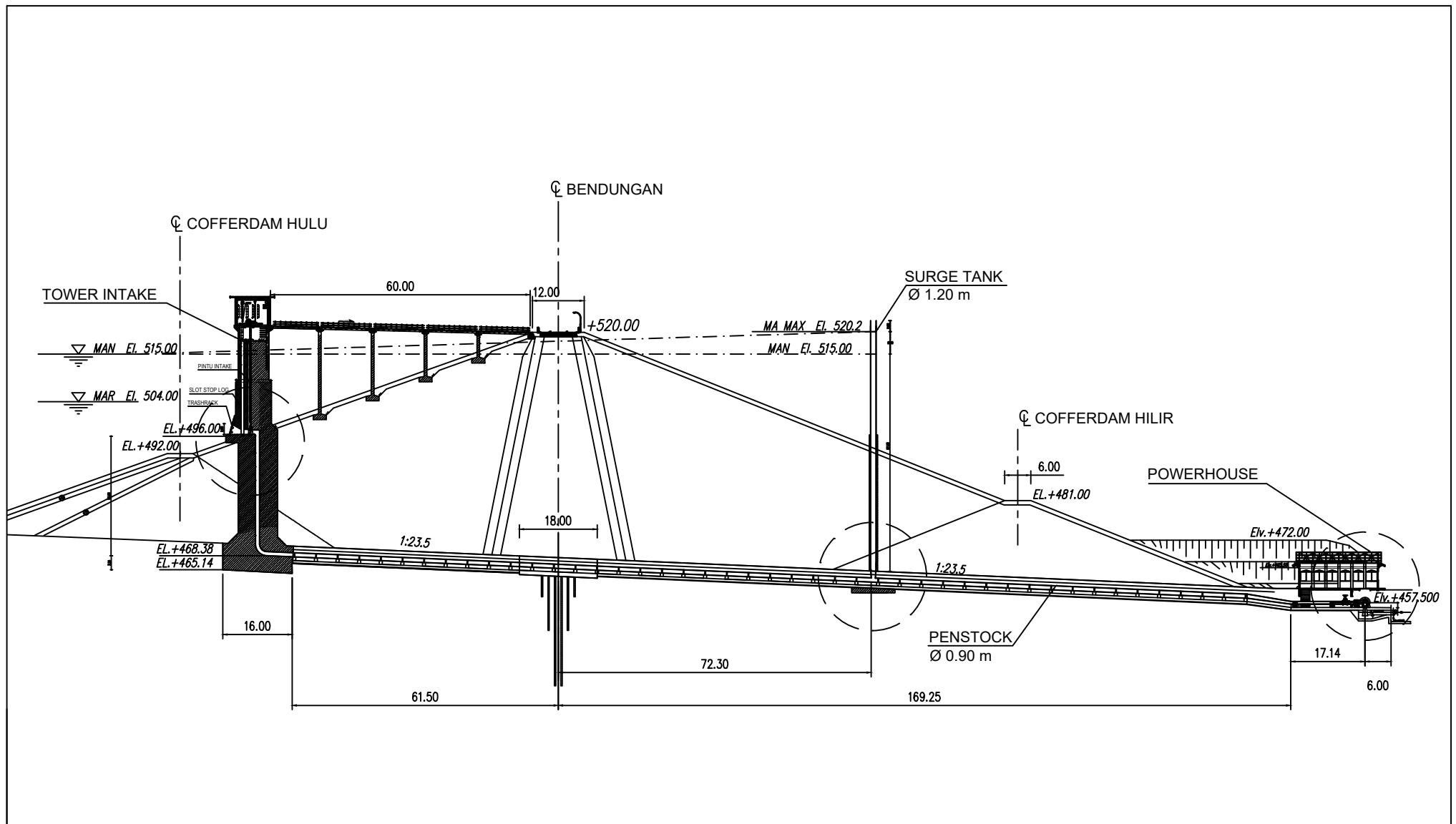
- Prabowo, Yusuf Setya. 2017. Laporan Tugas Akhir: **Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Desa Sutopati Kecamatan Kajoran Kabupaten Magelang**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Schei, Tormod A., Kumar, Arun., Dec. 2009. **Hydropower**. Switzerland : IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).
- Triatmodjo, Bambang. 2014. **Hidrologi Terapan**. Yogyakarta : Beta Offset.
- Ulfiana, Desyta. 2016. Laporan Tugas Akhir: **Pengaruh Pemanfaatan Got Miring Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro pada Nilai Manfaat Biaya (Benefit Cost Ratio) Saluran B.LT-9 Di Desa Pladen Kecamatan Jekulo Kabupaten Kudus**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

# **LAMPIRAN**

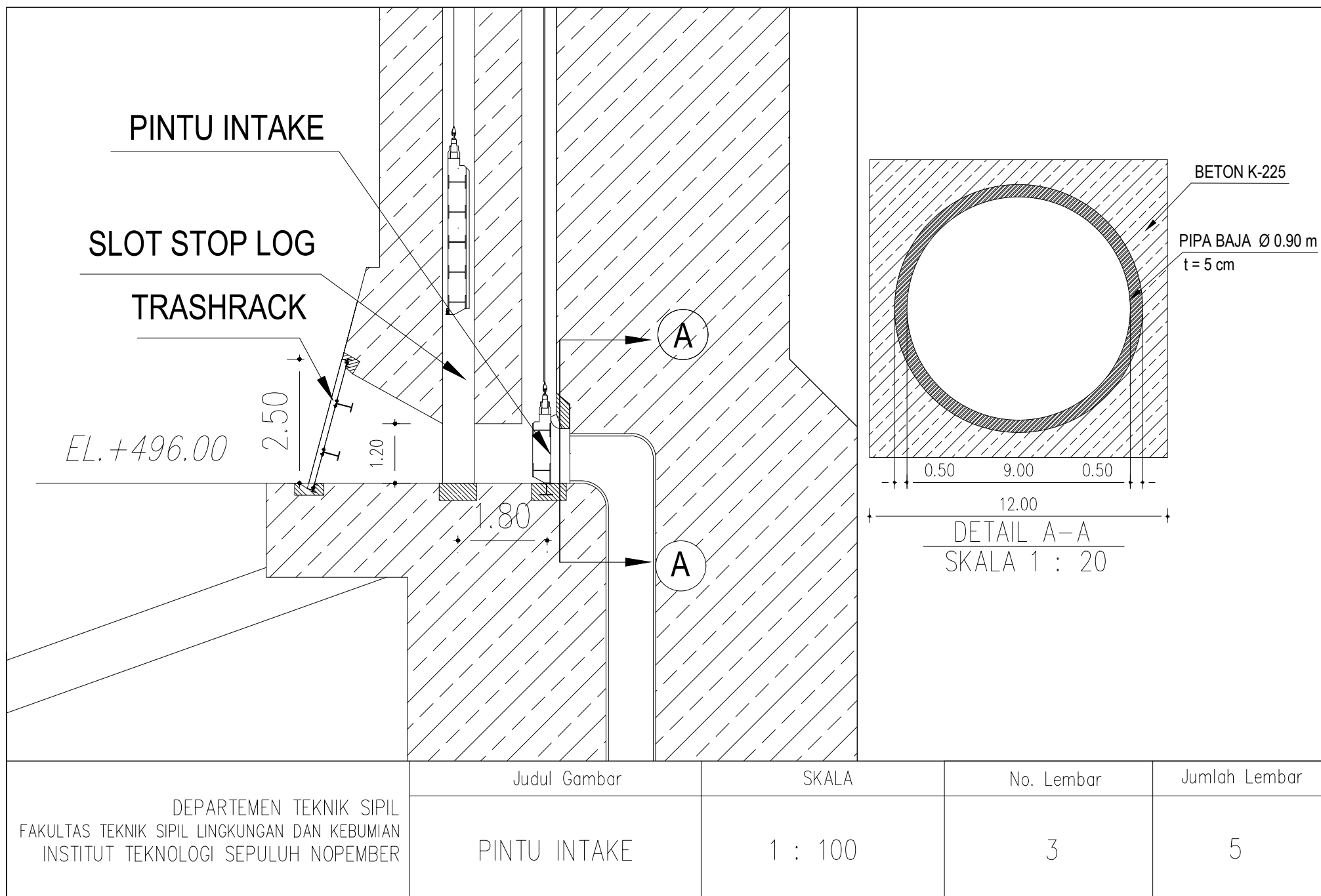
## **Gambar Perencanaan**

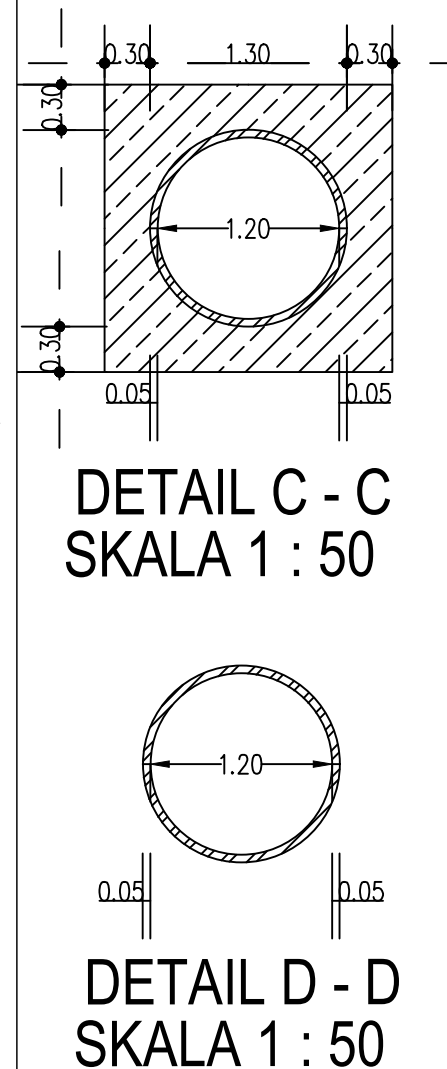
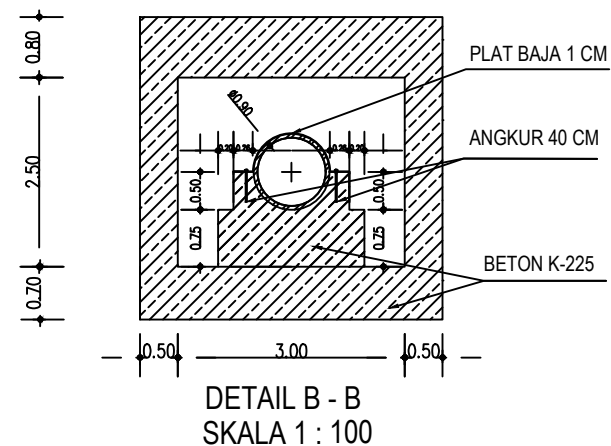
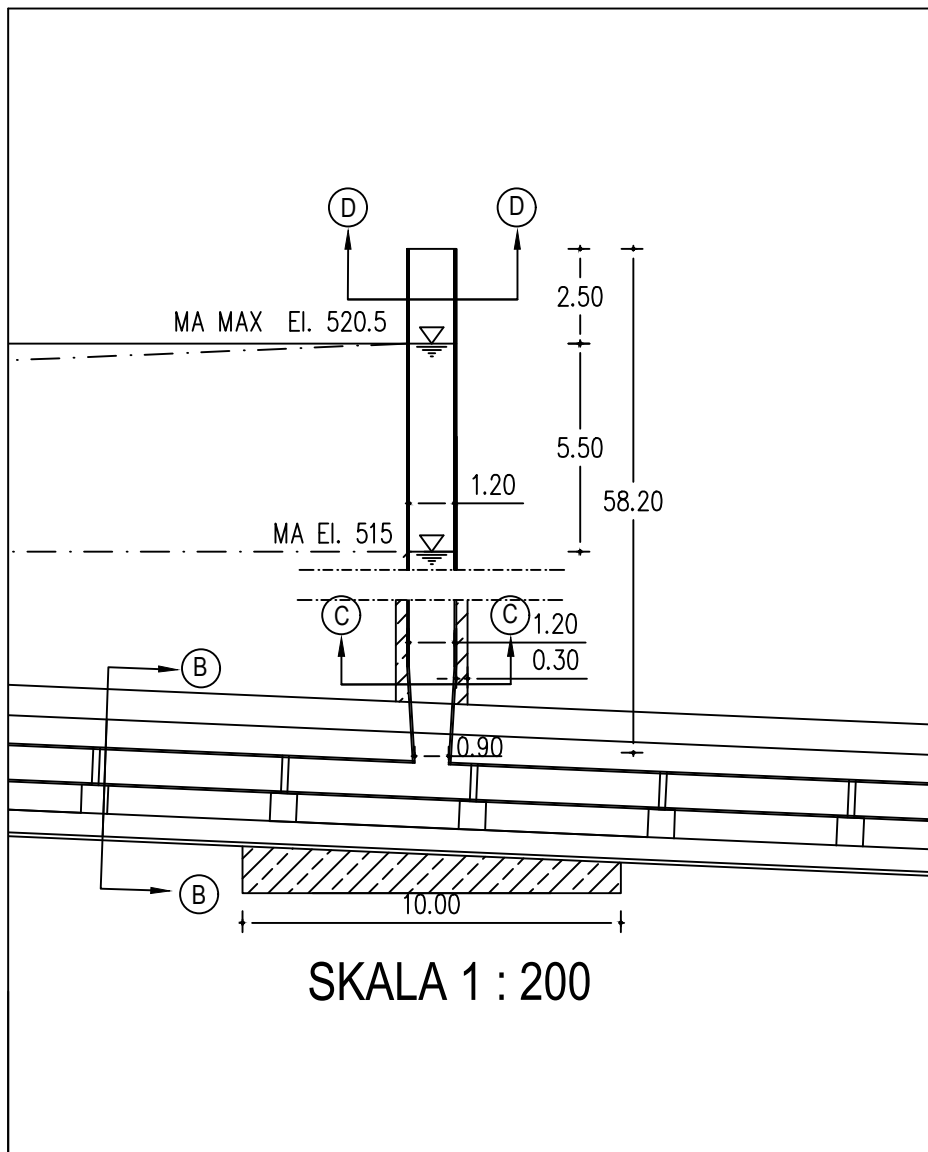


DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	Judul Gambar	SKALA	No. Lembar	Jumlah Lembar
	DENAH PERENCANAAN	1 : 1250	1	5



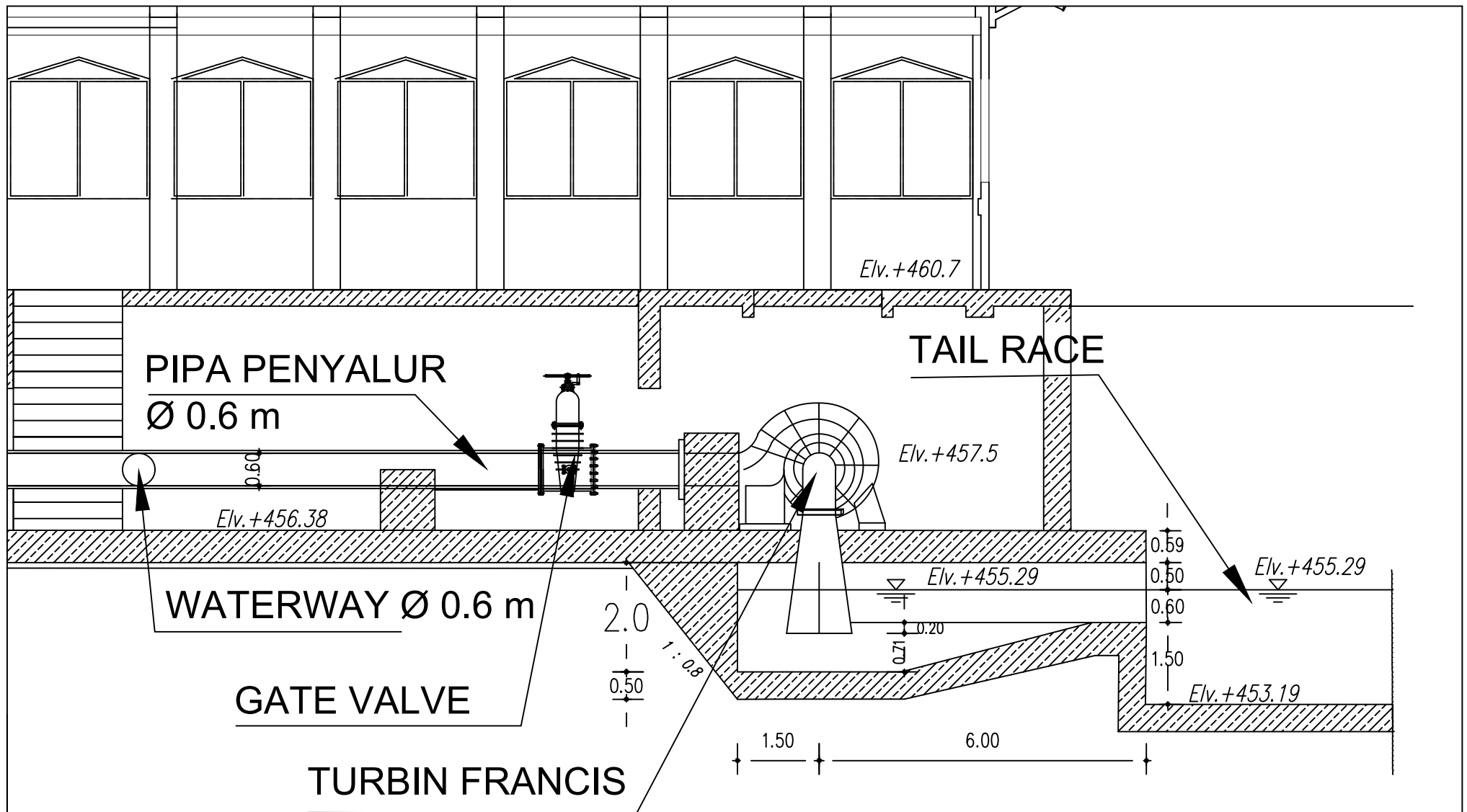
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	Judul Gambar	SKALA	No. Lembar	Jumlah Lembar
	Tampak Samping Komponen PLTMH	1 : 1250	2	5





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	Judul Gambar	SKALA	No. Lembar	Jumlah Lembar
	RENCANA DIMENSI SURGE TOWER DAN DETAIL PENSTOCK	1 : 50 1 : 100 1 : 200	4	5





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	Judul Gambar	SKALA	No. Lembar	Jumlah Lembar
	RENCANA TURBIN	1 : 200	5	5